

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **2004-045378**

(43)Date of publication of application : **12.02.2004**

(51)Int.Cl.

G01L 3/14

F16H 1/32

(21)Application number : **2003-116432**

(71)Applicant : **HARMONIC DRIVE SYST IND CO LTD**

(22)Date of filing : **22.04.2003**

(72)Inventor : **GODLEL IVAN  
HORIUCHI MASASHI  
HASHIMOTO MINORU**

(30)Priority

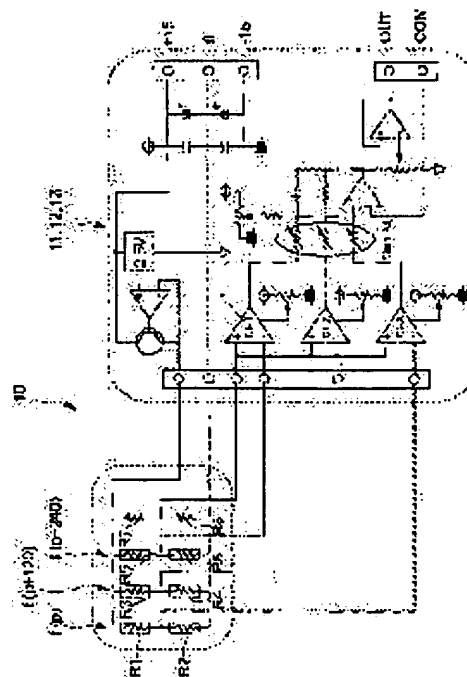
Priority number : **2002136890** Priority date : **13.05.2002** Priority country : **JP**

## (54) METHOD FOR DETECTING TORQUE OF WAVE MOTION GEAR DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To propose a method for detecting a torque of a wave motion gear device which can precisely detect a transmission torque based on an output of a strain gage laminated on a flexible external tooth gear.

SOLUTION: The method for detecting the torque of the wave motion gear device includes the steps of gain regulating and then compositing outputs from a plurality of sets of strain gages laminated on a diaphragm of the flexible external tooth gear by an amplifier; and generating a detection signal. A rotating ripple including in the output can be compensated by gain regulating each strain gage output. When components up to an n-th order included in the rotating ripple are compensated for, the rotary ripple can be surely compensated by laminating  $(2n+1)$  or more strain gages.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application]

converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-45378

(P2004-45378A)

(43) 公開日 平成16年2月12日(2004.2.12)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>G01L 3/14  
F16H 1/32

F1

G01L 3/14  
F16H 1/32G  
B

テーマコード(参考)

3J027

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2003-116432 (P2003-116432)  
 (22) 出願日 平成15年4月22日(2003.4.22)  
 (31) 優先権主張番号 特願2002-136890 (P2002-136890)  
 (32) 優先日 平成14年5月13日(2002.5.13)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 390040051  
 株式会社ハーモニック・ドライブ・システムズ  
 東京都品川区南大井6丁目25番3号  
 (74) 代理人 100090170  
 弁理士 横沢 志郎  
 (72) 発明者 ゴドレール イヴァン  
 福岡県北九州市八幡西区平尾町9-1-4  
 10  
 (72) 発明者 堀内 雅士  
 長野県南安曇郡穂高町大字牧1856-1  
 株式会社ハーモニック・ドライブ・システムズ穂高工場内  
 (72) 発明者 橋本 稔  
 長野県上田市大字古里197-17  
 Fターム(参考) 3J027 FA43 FB40 GC06

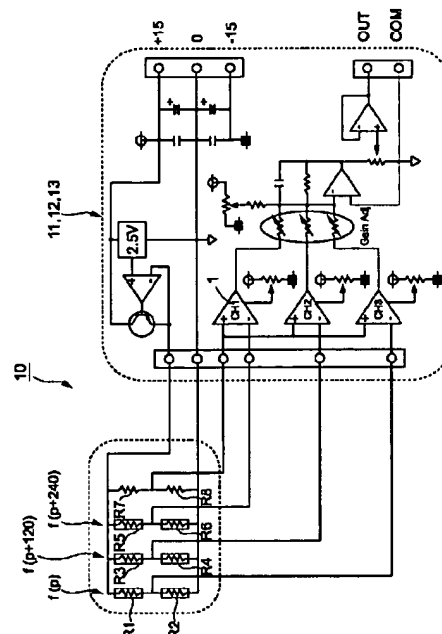
(54) 【発明の名称】 波動歯車装置のトルク検出方法

(57) 【要約】

【課題】可撓性外歯歯車に貼り付けた歪みゲージの出力に基づき、精度良く伝達トルクを検出可能な波動歯車装置のトルク検出方法を提案すること。

【解決手段】波動歯車装置のトルク検出方法では、可撓性外歯歯車のダイヤフラムに貼り付けた複数組の歪みゲージからの出力を増幅器でゲイン調整した後に合成して、検出信号を生成している。各歪みゲージ出力のゲイン調整を行うことにより出力に含まれている回転リップルを補償できる。回転リップルに含まれる $n$ 次数までの成分を補償する場合には、 $(2n+1)$ 枚以上の歪みゲージを貼り付けることにより、回転リップルを確実に補償できる。

【選択図】 図5



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

可撓性外歯歯車を楕円状に撓めて剛性内歯歯車に対して部分的に噛み合わせ、これら両歯車の噛み合い位置を円周方向に移動させることにより、これら両歯車の歯数差に起因する相対回転をこれら両歯車の間に発生させる波動歯車装置における伝達トルクを検出するためのトルク検出方法において、

前記可撓性外歯歯車の表面に貼り付けた複数枚の歪みゲージからの出力信号のゲイン調整を行うゲイン調整工程と、

ゲイン調整後の歪みゲージ出力信号を合成する信号合成工程とを含み、

前記ゲイン調整工程では、伝達トルクに関係無く発生する前記可撓性外歯歯車の歪みに起因して歪みゲージ出力信号に含まれる回転リップルを除去あるいは抑制できるように、各歪みゲージ出力信号のゲイン調整を行うことを特徴とする波動歯車装置のトルク検出方法。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 において、

前記可撓性外歯歯車の表面における円周方向の異なる角度位置に貼り付けた少なくとも 3 枚の歪みゲージから得られる検出信号を合成することを特徴とする波動歯車装置のトルク検出方法。

## 【請求項 3】

請求項 1 または 2 において、

補償したい前記回転リップル成分の次数を  $n$  とした場合に、歪みゲージの枚数を  $(2n + 1)$  枚以上とすることを特徴とする波動歯車装置のトルク検出方法。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は波動歯車装置の出力軸トルクを検出するためのトルク検出方法に関するものである。更に詳しくは、本発明は、波動歯車装置の可撓性外歯歯車の弾性変形を利用して、当該可撓性外歯歯車に貼り付けた歪みゲージを用いて出力軸トルクを精度良く検出可能な波動歯車装置のトルク検出方法に関するものである。

## 【0002】

30

## 【従来の技術】

波動歯車装置は、公知のように、剛性の内歯歯車と、この内側に配置された可撓性の外歯歯車と、この外歯歯車を半径方向に撓めて内歯歯車に部分的に噛みあわせると共に噛み合い位置を円周方向に移動させる波動発生器から構成されている。一般には楕円形輪郭の波動発生器によって可撓性外歯歯車は楕円形に撓められる。波動発生器をモータなどによって回転させると、内歯歯車と外歯歯車の歯数差に基づき、これら両歯車の間に相対回転が発生するので、一方の歯車を固定しておくことにより、他方の歯車から減速回転出力を得ることができる。

## 【0003】

この波動歯車装置の出力軸トルクを検出するために、可撓性外歯歯車の弾性変形を利用する方法が知られている。図 1 に示すように、一般に使用されているコップ状可撓性外歯歯車 1 は、可撓性のある円筒状胴部 2 と、この一端に連続している円盤状のダイヤフラム 3 と、ダイヤフラム 3 の中心部分に連続して形成されているボス 4 と、円筒状胴部 2 の開口端の外周部分に形成した外歯 5 から構成されている。この場合、円筒状胴部 2 あるいはダイヤフラム 3 に歪みゲージを貼り付け、ここからの出力に基づき、出力軸トルクを検出可能である。

40

## 【0004】

しかしながら、可撓性外歯歯車 1 は波動発生器によって楕円形に撓められ、波動発生器の回転に伴って当該可撓性外歯歯車 1 の各部分は繰り返し半径方向に強制変形させられる。よって、可撓性外歯歯車 1 には伝達トルクとは無関係の歪みが発生する。可撓性外歯歯車

50

1の各部分は、波動発生器の1回転毎に半径方向に向けて一定の変動幅で2往復する。従って、伝達トルクとは関係のない歪みは、波動発生器1回転につき2周期を基本周期とする正弦波状の歪みになる（一周期180°）。

【0005】

従来においては、図1に示すように、コップ状可撓性外歯歯車1の表面、例えばダイヤフラム3の表面に、歪みゲージ群f1(p)(R1、R2)と歪みゲージ群f2(p)(R3、R4)を互いに90°ずらして貼り付け、双方からの出力に基づき基本周期の歪成分をキャンセルしようとしている。しかし、この方法では、検出出力の線形性が不十分であり、また、検出出力には短い周期（基本周期の整数倍）の成分をもつ回転リップル成分が残ってしまう。

10

【0006】

基本周期と2次成分（一周期90°）の歪をキャンセルするために、図2に示すように、歪みゲージ群f1(R1、R2)、f2(R3、R4)を互いに45°ずらして貼り付けた組と、歪みゲージ群f3(R5、R6)、f4(R7、R8)を互いに45°ずらして貼り付けた組とを、互いに90°ずらして、合計8枚の歪みゲージR1～R8を貼り付ける試みもなされている。さらに、検出出力の直線性を向上させるために、歪みゲージ群の組(f1、f2)と(f3、f4)とを360°内に対称に配置し、合計16枚の歪みゲージを貼り付ける試みもなされている。このような方法は例えば下記の特許文献に開示されている。

【0007】

20

【特許文献】

特開平9-184777号公報

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、このようにしても、回転リップルの補償はまだ不十分である。本発明者等の実験によれば、これらのエラーは、歪みゲージの貼り付け位置誤差と、可撓性外歯歯車寸法の誤差（非対称性など）と、歯車の組立て誤差が主要な要因である。例えば、歪みゲージの貼り付け位置誤差のために、それぞれの歪みゲージの信号の感度と位相が異なり、回転リップルをキャンセルあるいは十分に抑制することができない。

【0009】

30

本発明の課題は、波動発生器の回転に伴って伝達トルクとは無関係に可撓性外歯歯車に発生する周期的に変動する歪み成分（回転リップル）を除去あるいは十分に抑制できる波動歯車装置のトルク検出方法を提案することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記の課題を解決するために、本発明は、可撓性外歯歯車を楕円状に撓めて剛性内歯歯車に対して部分的に噛み合わせ、これら両歯車の噛み合い位置を円周方向に移動させることにより、これら両歯車の歯数差に起因する相対回転をこれら両歯車の間に発生させる波動歯車装置における伝達トルクを検出するためのトルク検出方法において、

前記可撓性外歯歯車の表面に貼り付けた複数枚の歪みゲージからの出力信号のゲイン調整を行うゲイン調整工程と、

40

ゲイン調整後の歪みゲージ出力信号を合成する信号合成工程とを含み、

前記ゲイン調整工程では、伝達トルクに関係無く発生する前記可撓性外歯歯車の歪みに起因して歪みゲージ出力信号に含まれる回転リップルを除去あるいは抑制できるように、各歪みゲージ出力信号のゲイン調整を行うことを特徴としている。

【0011】

また、本発明では、前記可撓性外歯歯車の表面における円周方向の異なる角度位置に貼り付けた少なくとも3枚の歪みゲージから得られる検出信号を合成するようにしている。

【0012】

更に、本発明では、補償したい前記回転リップル成分の次数をnとした場合に、歪みゲ

50

ジの枚数を  $(2n + 1)$  枚以上とすることを特徴としている。

【0013】

【発明の実施の形態】

以下に、図面を参照して本発明を適用した波動歯車装置のトルク検出方法を説明する。

【0014】

コップ状可撓性外歯歯車 1 のダイヤフラム 2 の表面に図 2 に示すように所定角度間隔で貼り付けた歪ゲージの組  $f_1 \sim f_4$  の出力に含まれる回転リップル成分は、次式 (1) で表される。なお、式 (1) ~ (4) は、回転リップルに 2 次成分と 4 次成分のみが存在する場合の例である。

【0015】

【数 1】

$$\left. \begin{aligned} f_1(p) &= a_{11}\sin(2p + \psi_{11}) + a_{21}\sin(4p + \psi_{21}) \\ f_2(p) &= a_{12}\sin(2p + \psi_{12}) - a_{22}\sin(4p + \psi_{22}) \\ f_3(p) &= -a_{13}\sin(2p + \psi_{13}) + a_{23}\sin(4p + \psi_{23}) \\ f_4(p) &= -a_{14}\sin(2p + \psi_{14}) - a_{24}\sin(4p + \psi_{24}) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

10

20

【0016】

回転リップル成分の合計  $h(p)$  が零になるための条件は次式 (2) で表され、これは、次の連立方程式 (3) として表すことができる。

【0017】

【数 2】

$$\left. \begin{aligned} h(p) &= (a_{11}\cos\psi_{11} - a_{12}\sin\psi_{12} - a_{13}\sin\psi_{13} + a_{14}\sin\psi_{14})\sin(2p) \\ &\quad + (a_{11}\sin\psi_{11} + a_{12}\cos\psi_{12} - a_{13}\sin\psi_{13} - a_{14}\cos\psi_{14})\cos(2p) \\ &\quad + (a_{21}\cos\psi_{21} - a_{22}\cos\psi_{22} + a_{23}\cos\psi_{23} - a_{24}\cos\psi_{24})\sin(4p) \\ &\quad + (a_{21}\sin\psi_{21} - a_{22}\sin\psi_{22} + a_{23}\sin\psi_{23} - a_{24}\sin\psi_{24})\cos(4p) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

30

【0018】

【数 3】

$$\left. \begin{aligned} a_{11}\cos\psi_{11} - a_{12}\sin\psi_{12} - a_{13}\sin\psi_{13} + a_{14}\sin\psi_{14} &= 0 \\ a_{11}\sin\psi_{11} + a_{12}\cos\psi_{12} - a_{13}\sin\psi_{13} - a_{14}\cos\psi_{14} &= 0 \\ a_{21}\cos\psi_{21} - a_{22}\cos\psi_{22} + a_{23}\cos\psi_{23} - a_{24}\cos\psi_{24} &= 0 \\ a_{21}\sin\psi_{21} - a_{22}\sin\psi_{22} + a_{23}\sin\psi_{23} - a_{24}\sin\psi_{24} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

40

【0019】

式 (3) が成り立つためには、振幅  $a_{11} \sim a_{24}$ 、または位相  $\psi_{11} \sim \psi_{24}$  を調整すればよい。歪みゲージを接着したあとに位相を調整することは困難であるが、振幅の調整は増幅器のゲインを調整することで容易に行うことができる。例えば、基本周期のリップ

50

ルを補償するためには、次式（４）を満足するように増幅器のゲイン  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  を調整すればよい。

【００２０】

【数４】

$$\left. \begin{aligned} k_1 a_{11} \cos \psi_{11} - k_2 a_{12} \sin \psi_{12} - k_3 a_{13} \cos \psi_{13} + a_{14} \sin \psi_{14} &= 0 \\ k_1 a_{11} \sin \psi_{11} + k_2 a_{12} \cos \psi_{12} - k_3 a_{13} \sin \psi_{13} - a_{14} \cos \psi_{14} &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} k_1 &= \cdots \\ k_2 &= \cdots \\ k_3 &= \cdots \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

10

【００２１】

ゲイン  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  は、合計したリップル信号を波形測定器などで観測しながら、直接、ボリュームなどで調整し、リップル出力が最小になるように、それぞれのゲインパラメータを任意に調整できる。この代わりに、公知の連立方程式解法により求めた式（４）の解を用いてもよい。

【００２２】

次に、回転リップルを完全に補償するために必要な歪みゲージの最低数について検討する。回転リップルの一般的な表現は次式（５）である。ここで、 $n$  は補償したい回転リップル成分の数であり、 $N$  は歪みゲージの数（貼り付け位置の数、等角度配置）である。

【００２３】

【数５】

$$\begin{aligned} f_j(p) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N a_{ij} \sin \left( 2ip + \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N \left\{ a_{ij} \cos \left( \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) \sin(2ip) + a_{ij} \sin \left( \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) \cos(2ip) \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

30

【００２４】

この式により規定される回転リップルが零になるためには、次の線形連立方程式（６）が成立する必要がある。

【００２５】

【数６】

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^N a_{ij} \cos \left( \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) &= 0 \\ \sum_{j=1}^N a_{ij} \sin \left( \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) &= 0 \end{aligned} \right\} \left| \begin{array}{c} n \\ i=1 \end{array} \right. \quad (6)$$

40

【００２６】

本発明では、リップルの補償のためにそれぞれの歪みゲージ  $j$  にゲインパラメータ  $k_j$  を追加する。すなわち、振幅  $a_{ij}$  にゲインパラメータ  $k_j$  を掛け合わせる。式（６）は次式（７）のように書き換えられる。

【００２７】

50

【数 7】

$$\begin{bmatrix} a_{ij} \cos \left( \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) \\ a_{ij} \sin \left( \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) \end{bmatrix}_{(2n \times N)} [k_j]_{(N)} = 0 \quad (7)$$

10

【0028】

この線形連立方程式において、ゲインパラメータのトリビアルでない解が存在するための条件は次式（8）で表すことができる。

【0029】

【数 8】

$$N \geq 2n + 1 \quad (8)$$

20

【0030】

例えば、基本周期成分だけを補償するときには  $n = 1$ 、従って  $N$  は 3 以上であり、これは 3 枚以上の歪みゲージが必要なことを意味している。また、2 次周期成分までを補償するときには  $n = 2$ 、従って  $N$  は 5 以上となり、5 枚以上の歪みゲージが必要になる。

【0031】

ここで、図 3 には、基本周期回転リップルの補償原理を示してある。図 3（a）、（b）に示すように、2 組の歪みゲージ  $f_1$ 、 $f_2$  を用いた場合には回転リップルの補償が不可能である。しかるに、図 3（c）、（d）に示すように、3 組の歪みゲージ  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  を用いて、各歪みゲージのゲイン調整を行えば、回転リップルの完全な補償が可能になることが分かる。

【0032】

式（6）の連立方程式の解は無数に存在するが、 $N = 2n + 1$  の場合にはゲインパラメータの一つを自由に選択することができる。例えば、ゲインパラメータの一つを「1」に選ぶことができ、この場合には 1 組の歪みゲージにはゲイン調整が必要なくなる。J 番目の歪みゲージのゲインパラメータを「1」、すなわち、 $k_J = 1$  とすれば、残りの  $(N - 1)$  個のゲインパラメータは次の式（9）から求められる。

【0033】

【数 9】

$$[k_j]_{j \neq J} = - \begin{bmatrix} a_{ij} \cos \left( \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) \\ a_{ij} \sin \left( \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) \end{bmatrix}_{j \neq J}^{-1} \begin{bmatrix} a_{Jj} \cos \left( \frac{(J-1)\pi}{N} + \psi_{Jj} \right) \\ a_{Jj} \sin \left( \frac{(J-1)\pi}{N} + \psi_{Jj} \right) \end{bmatrix} \quad (9)$$

40

【0034】

ゲイン調整後に、出力全体のゲインが調整前と変わらないようにするためには、次式（1 50



0) でスケーリングする。

【0035】

【数10】

$$C = \frac{N}{\sum_{j=1}^N k_j} \quad (10)$$

【0036】

Cはスケーリング係数であり、最終的なゲインパラメータの値は $k'_j = C k_j$ となる。

【0037】

本発明によれば、リップルの補償は簡単な振幅のバランスで行われるので、アナログ回路でもデジタル回路でも高速に実現できる。

【0038】

次に、図4は、本発明者等によって判明した新たな事項に基づき構成された波動歯車装置のトルク検出装置の一例を示す概略構成図である。本例のトルク検出装置10は、コップ状可撓性外歯歯車1のダイヤフラム3の表面に、 $120^\circ$ の間隔で3組の歪みゲージ群 $f(p)$ 、 $f(p+120)$ 、および $f(p+240)$ が貼り付けられている。各歪みゲージ群は直交する状態に貼り付けた一対の歪みゲージから構成されている。各歪みゲージ群からの出力は、それぞれ増幅器11、12、13によってゲイン調整された後に、加算器14で合成された後に、検出信号として出力される。上式(4)で規定されるようにゲイン調整を適切に行うことにより回転リップルが完全に補償された検出信号を得ることができる。

【0039】

図5には、トルク検出装置10の具体的な回路構成図の一例を示してある。検出部分は、3組の歪みゲージ群 $f(p)$ 、 $f(p+120)$ および $f(p+240)$ を構成している3組の直交2軸型歪みゲージ(R1、R2)、(R3、R4)、(R5、R6)と、一対の固定抵抗R7、R8からなるブリッジ回路となっている。

【0040】

図6(a)には、各歪みゲージ群 $f(p)$ 、 $f(p+120)$ および $f(p+240)$ における波動歯車装置の回転角度に対する出力変動曲線 $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ を示してある。図6(b)には、これらの出力を合成した場合の合成出力変動曲線を示してある。図6(c)には本例のトルク検出装置10によってゲイン調整された後の合成出力変動曲線を示してある。図6(b)および(c)の曲線を比較すると明らかなように、本例のトルク検出装置10からは回転リップルが補償された検出信号が得られることが分かる。

【0041】

ここで、本発明の上記基本原理によれば、図1、2に示すように、 $180^\circ$ の角度範囲内に歪みゲージを配置すればよいが、本例のように $360^\circ$ の角度範囲内に配置した場合には、偏心による1回転1周期の低周波数成分も補償できるという利点がある。

【0042】

次に、図7は、回転リップルに含まれている基本波成分と二次成分を補償するためのトルク検出装置の一例を示してある。本例のトルク検出装置20は、 $n=2$ であるので5組の歪みゲージ群 $f(p)$ 、 $f(p+72)$ 、 $f(p+144)$ 、 $f(p+216)$ 、および $f(p+288)$ がコップ状可撓性外歯歯車1のダイヤフラム3の表面に等角度間隔で貼り付けられている。各歪みゲージ群は直交する状態に貼り付けた2枚の歪みゲージから構成されている。各歪みゲージ群からの出力はそれぞれの増幅器21～25を介してゲイン調整された後に、加算器26に供給されて合成される。この結果、回転リップルが補償された検出信号を出力することができる。

【0043】

10

20

30

40

50

**【発明の効果】**

以上説明したように、本発明の波動歯車装置のトルク検出方法によれば、各歪みゲージの出力をゲイン調整した後に合成することにより、歪みゲージ出力に含まれている伝達トルクに関係の無い周期的な変動成分である回転リップルを補償できることが確認された。

**【0044】**

また、本発明では、回転リップルに含まれている各次数の成分を補償するために最低必要な歪みゲージ枚数を求め、これに基づき、必要次数までの回転リップル成分を確実に補償できる。換言すると、最小枚数の歪みゲージで効率良く回転リップルを補償することが可能になる。歪みゲージの枚数が少なく済むので、貼り付け作業などを効率化でき、検出機構のコストの低減に有利となる。

10

**【図面の簡単な説明】**

【図1】波動歯車装置の伝達トルクを検出するために歪みゲージを用いた場合における検出信号に含まれる回転リップルを説明するための説明図である。

【図2】波動歯車装置の伝達トルクを検出するために歪みゲージを用いた場合における検出信号に含まれる回転リップルを説明するための説明図である。

【図3】回転リップルに含まれる基本周期成分をキャンセルするために最低3枚の歪みゲージが必要であることを示すための説明図である。

【図4】本発明を適用した波動歯車装置のトルク検出装置の主要部分を示す概略構成図である。

【図5】図4に示すトルク検出装置の具体的な回路構成例を示す回路ブロック図である。

20

【図6】(a)は、3組の各歪みゲージ群における波動歯車装置の回転角度に対する出力変動曲線を示すグラフであり、(b)は、これらの出力を合成した場合の合成出力変動曲線を示すグラフであり、図6(c)には図5のトルク検出装置によってゲイン調整された後の合成出力変動曲線を示すグラフである。

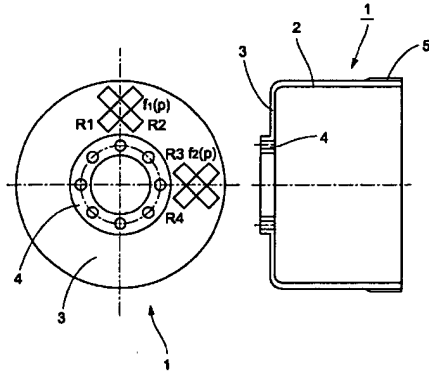
【図7】本発明を適用した波動歯車装置のトルク検出装置の主要部分を示す概略構成図である。

**【符号の説明】**

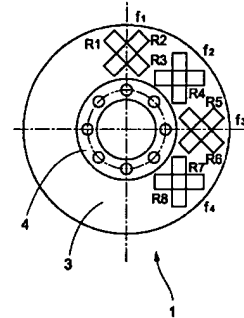
- 1      コップ状可撓性外歯歯車
- 2      円筒状胴部
- 3      ダイヤフラム
- 4      ボス
- 5      外歯
- 10    トルク検出器
- 11、12、13   増幅器
- 14    加算器

30

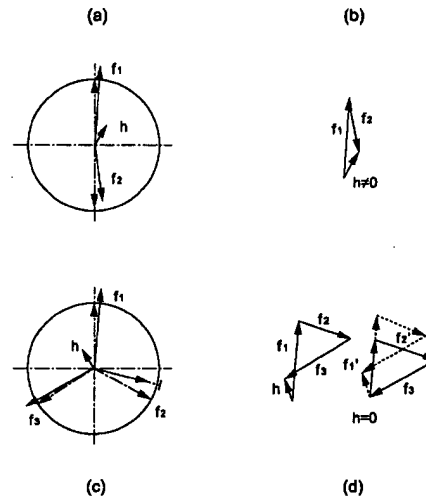
【図 1】



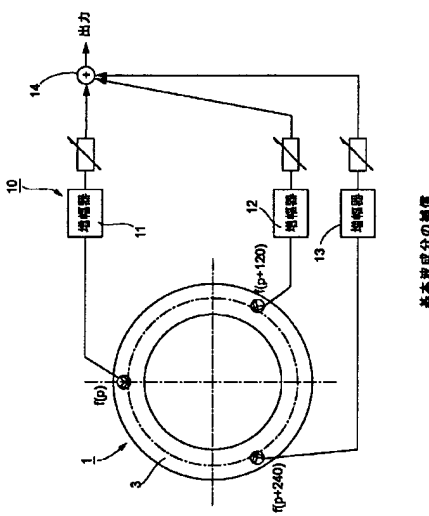
【図 2】



【図 3】

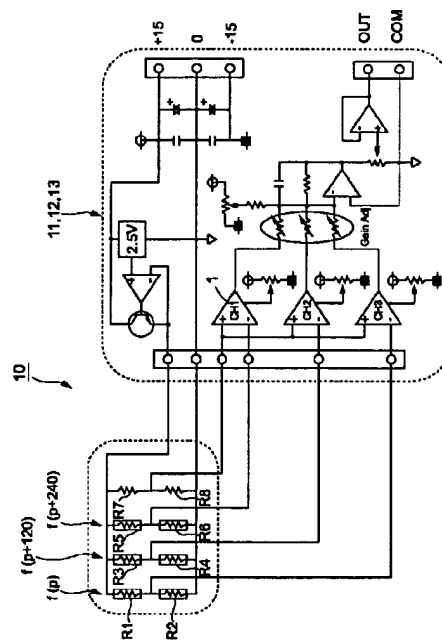


【図 4】

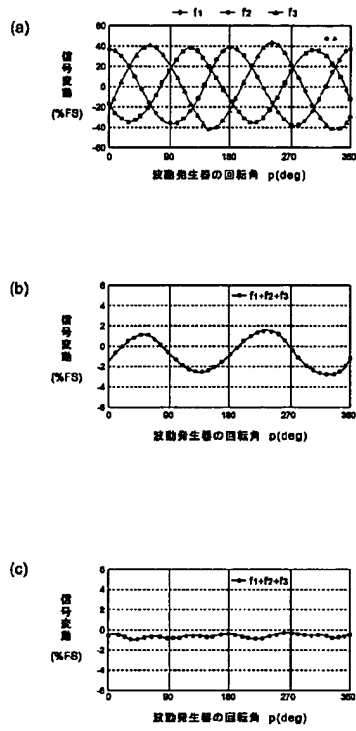


基本部分の構成

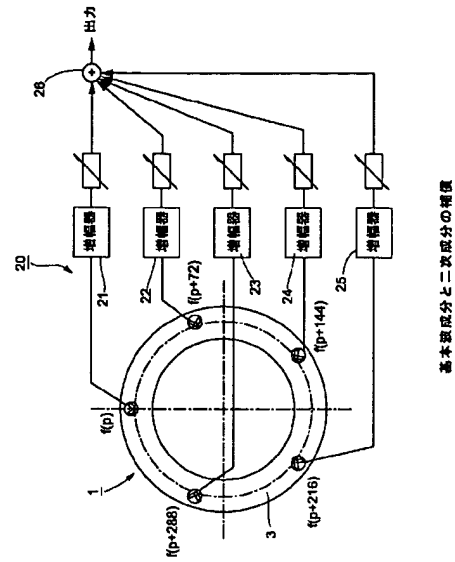
【図 5】



【図 6】



【図 7】



Computer generated translation of JP2004-045378

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1]

In the torque detection approach for detecting the transfer torque in the wave-motion gearing which generates the relative rotation which originates in both [ these ] gearings' number-of-teeth difference by stir-frying a flexible external-tooth gearing in the shape of an ellipse, engaging partially to a rigid internal gear, and moving both [ these ] gearings' engagement position to a circumferential direction among both [ these ] gearings,

The gain-adjustment process which performs the gain adjustment of the output signal from the strain gage of two or more sheets stuck on said flexible external-tooth gearing's front face,

The signal composition process which compounds the strain gage output signal after a gain adjustment is included,

The torque detection approach of the wave-motion gearing characterized by performing the gain adjustment of each strain gage output signal so that the rotation ripple which originates in distortion of said flexible external-tooth gearing generated with regards to transfer torque at said gain-adjustment process that there is nothing, and is contained in a strain gage output signal can be removed or controlled.

[Claim 2]

In claim 1,

The torque detection approach of the wave-motion gearing characterized by compounding the detecting signal obtained from the strain gage of at least three sheets stuck on the angular position from which the circumferential direction in said flexible external-tooth gearing's front face differs.

[Claim 3]

In claims 1 or 2,

The torque detection approach of the wave-motion gearing characterized by carrying out the number of sheets of a strain gage to more than  $2n+1$  when the degree of said rotation ripple component to compensate is set to  $n$ .

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

This invention relates to the torque detection approach for detecting the output output torque of

wave-motion gearing. Furthermore, this invention relates the output output torque to the torque detection approach of detectable wave-motion gearing with a sufficient precision in detail using the strain gage stuck on the flexible external-tooth gearing concerned using the elastic deformation of the flexible external-tooth gearing of wave-motion gearing.

[0002]

[Description of the Prior Art]

Wave-motion gearing consists of wave-motion generators made to move an engagement position to a circumferencial direction while it stir-fries to radial a rigid internal gear, the flexible external-tooth gearing stationed at this inside, and this external-tooth gearing and engages them partially to an internal gear so that it may be well-known. Generally a flexible external-tooth gearing is stir-fried by the ellipse form by the wave-motion generator of an ellipse form profile. If a wave-motion generator is rotated by a motor etc., since relative rotation will occur among both [ these ] gearings based on the number-of-teeth difference of an internal gear and an external-tooth gearing, a moderation rotation output can be obtained from the gearing of another side by fixing one gearing.

[0003]

In order to detect the output output torque of this wave-motion gearing, the method of using a flexible external-tooth gearing's elastic deformation is learned. As shown in drawing 1 , the cop-like flexibility external-tooth gearing 1 currently generally used consists of the cylindrical drum section 2 with flexibility, disc-like diaphragm 3 which is following this end, a boss 4 currently formed succeeding a part for the core of diaphragm 3, and an external tooth 5 formed in the periphery part of the opening edge of the cylindrical drum section 2. In this case, a strain gage can be stuck on the cylindrical drum section 2 or diaphragm 3, and the output output torque can be detected based on the output from here.

[0004]

However, the flexible external-tooth gearing 1 is stir-fried by the ellipse form, and is made to carry out forcible deformation of each part of the flexible external-tooth gearing 1 concerned with rotation of a wave-motion generator by the wave-motion generator by the repeat radial. Therefore, a distortion unrelated to transfer torque occurs on the flexible external-tooth gearing 1. It goes to each part of the flexible external-tooth gearing 1 and comes back two times by the fixed range of fluctuation towards radial for every rotation of a wave-motion generator. Therefore, distortion which is unrelated to transfer torque turns into distortion of the shape of a sine wave which makes two periods a primitive period per wave-motion generator 1 rotation (a round term 180 degrees).

[0005]

In the former, as shown in drawing 1 , mutually, the strain gage group f1 (p), (R1, R2), the strain gage group f2 (p), and (R3, R4) tend to be shifted on the cop-like flexibility external-tooth gearing's 1 front face, for example, the front face of diaphragm 3, it tends to be stuck on it, and it is going to cancel the distorted component of a primitive period based on the output from both sides. [ 90-degree ] However, by this approach, the rotation ripple component whose linearity of a detection output has the component of a short period (integral multiple of a primitive period) in a detection output insufficiently will remain.

[0006]

In order to cancel distortion of a primitive period and a secondary component (a round term 90 degrees) The group which shifted 45 degrees of strain gage groups f1 (R1, R2) and f2 (R3, R4), and stuck them mutually as shown in drawing 2 , 90 degrees of groups which shifted 45 degrees

of strain gage groups f3 (R5, R6) and f4 (R7, R8), and stuck them mutually are shifted mutually, and the attempt which sticks the strain gages R1-R8 of a total of eight sheets is also made. Furthermore, in order to raise the linearity of a detection output, the group (f1, f2) of a strain gage group is arranged to the symmetry in 360 degrees, and the attempt which sticks the strain gage of a total of 16 sheets is also made (f3, f4). Such an approach is indicated by the following patent reference.

[0007]

[Patent reference]

JP,9-184777,A

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]

However, even if such, compensation of a rotation ripple is still inadequate. According to this invention person's etc. experiment, these errors are factors with main attachment position error of a strain gage, errors (asymmetry etc.) of a flexible external-tooth gearing dimension, and a gearing's assembly error. for example, the attachment position error of a strain gage sake -- the sensibility and the phase of a signal of each strain gage -- differing -- a rotation ripple -- cancellation -- or it cannot fully control.

[0009]

The technical problem of this invention is about the distortion component (rotation ripple) which is generated on a flexible external-tooth gearing regardless of transfer torque with rotation of a wave-motion generator and which is changed periodically to propose removal or the torque detection approach of wave-motion gearing which can fully be controlled.

[0010]

[Means for Solving the Problem]

In the torque detection approach for detecting the transfer torque in the wave-motion gearing which generates the relative rotation which originates in both [ these ] gearings' number-of-teeth difference by this invention's stir-frying a flexible external-tooth gearing in the shape of an ellipse, engaging him partially to a rigid internal gear, and moving both [ these ] gearings' engagement position to a circumferential direction in order to solve the above-mentioned technical problem among both [ these ] gearings,

The gain-adjustment process which performs the gain adjustment of the output signal from the strain gage of two or more sheets stuck on said flexible external-tooth gearing's front face, The signal composition process which compounds the strain gage output signal after a gain adjustment is included,

At said gain-adjustment process, it is characterized by performing the gain adjustment of each strain gage output signal so that the rotation ripple which originates in distortion of said flexible external-tooth gearing generated with regards to transfer torque that there is nothing, and is contained in a strain gage output signal can be removed or controlled.

[0011]

Moreover, he is trying to compound the detecting signal obtained from the strain gage of at least three sheets stuck on the angular position from which the circumferential direction in said flexible external-tooth gearing's front face differs in this invention.

[0012]

Furthermore, in this invention, when the degree of said rotation ripple component to compensate is set to n, it is characterized by carrying out the number of sheets of a strain gage to more than \*\* (2n+1).

[0013]

[Embodiment of the Invention]

The torque detection approach of the wave-motion gearing which applied this invention to below with reference to the drawing is explained.

[0014]

The rotation ripple component contained in the output of the groups f1-f4 of the strain gage stuck at intervals of the predetermined include angle as shown in the front face of the cop-like flexibility external-tooth gearing's 1 diaphragm 2 at drawing 2 is expressed with a degree type (1). In addition, formula (1) - (4) is an example in case only a secondary component and the 4th component exist in a rotation ripple.

[0015]

[Equation 1]

$$\left. \begin{aligned} f_1(p) &= a_{11}\sin(2p + \psi_{11}) + a_{21}\sin(4p + \psi_{21}) \\ f_2(p) &= a_{12}\sin(2p + \psi_{12}) - a_{22}\sin(4p + \psi_{22}) \\ f_3(p) &= -a_{13}\sin(2p + \psi_{13}) + a_{23}\sin(4p + \psi_{23}) \\ f_4(p) &= -a_{14}\sin(2p + \psi_{14}) - a_{24}\sin(4p + \psi_{24}) \end{aligned} \right\} (1)$$

[0016]

Conditions for a total of h (p) of a rotation ripple component to become zero are expressed with a degree type (2), and this can be expressed as following simultaneous equations (3).

[0017]

[Equation 2]

$$\left. \begin{aligned} h(p) &= (a_{11}\cos \psi_{11} - a_{12}\sin \psi_{12} - a_{13}\sin \psi_{13} + a_{14}\sin \psi_{14})\sin(2p) \\ &+ (a_{11}\sin \psi_{11} + a_{12}\cos \psi_{12} - a_{13}\sin \psi_{13} - a_{14}\cos \psi_{14}) \cos (2p) \\ &+ (a_{21}\cos \psi_{21} - a_{22}\cos \psi_{22} + a_{23}\cos \psi_{23} - a_{24}\cos \psi_{24}) \sin(4p) \\ &+ (a_{21}\sin \psi_{21} - a_{22}\sin \psi_{22} + a_{23}\sin \psi_{23} - a_{24}\sin \psi_{24}) \cos (4p) = 0 \end{aligned} \right\} (2)$$

[0018]

[Equation 3]



$$\left. \begin{aligned} a_{11}\cos \psi_{11} - a_{12}\sin \psi_{12} - a_{13}\sin \psi_{13} + a_{14}\sin \psi_{14} &= 0 \\ a_{11}\sin \psi_{11} + a_{12}\cos \psi_{12} - a_{13}\sin \psi_{13} - a_{14}\cos \psi_{14} &= 0 \\ a_{21}\cos \psi_{21} - a_{22}\cos \psi_{22} + a_{23}\cos \psi_{23} - a_{24}\cos \psi_{24} &= 0 \\ a_{21}\sin \psi_{21} - a_{22}\sin \psi_{22} + a_{23}\sin \psi_{23} - a_{24}\sin \psi_{24} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

[0019]

What is necessary is just to adjust amplitude  $a_{11}$ - $a_{24}$  or phases  $\psi_{11}$ - $\psi_{24}$ , in order to realize a formula (3). Although it is difficult to adjust a phase after pasting up a strain gage, adjustment of the amplitude can be easily performed by adjusting the gain of amplifier. For example, what is necessary is just to adjust the gain  $k_1$ ,  $k_2$ , and  $k_3$  of amplifier so that a degree type (4) may be satisfied in order to compensate the ripple of a primitive period.

[0020]

[Equation 4]

$$\left. \begin{aligned} k_1 a_{11}\cos \psi_{11} - k_2 a_{12}\sin \psi_{12} - k_3 a_{13}\cos \psi_{13} + a_{14}\sin \psi_{14} &= 0 \\ k_1 a_{11}\sin \psi_{11} + k_2 a_{12}\cos \psi_{12} - k_3 a_{13}\sin \psi_{13} - a_{14}\cos \psi_{14} &= 0 \end{aligned} \Rightarrow \begin{matrix} k_1 = \dots \\ k_2 = \dots \\ k_3 = \dots \end{matrix} \right\} \quad (4)$$

[0021]

Observing the total ripple signal with a wave measuring instrument etc., directly, gain  $k_1$ ,  $k_2$ , and  $k_3$  adjusts in volume etc., and it can adjust each gain parameter to arbitration so that a ripple output may become min. The solution of the equation (4) for which it instead asked by the well-known simultaneous-equations solution method may be used.

[0022]

Next, the minimum number of a strain gage required since a rotation ripple can be compensated completely is examined. The general expression of a rotation ripple is a degree type (5).  $n$  is the number of rotation ripple components to compensate here, and  $N$  is the number of strain gages (the number of attachment locations, equiangular arrangement).

[0023]

[Equation 5]

$$\begin{aligned}
f_j(p) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N a_{ij} \sin \left( 2ip + \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) \\
&= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N \left\{ a_{ij} \cos \left( \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) \sin(2ip) + a_{ij} \sin \left( \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) \cos(2ip) \right\}
\end{aligned} \tag{5}$$

[0024]

In order for the rotation ripple specified by this equation to become zero, the following linearity simultaneous equations (6) need to be materialized.

[0025]

[Equation 6]

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^N a_{ij} \cos \left( \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) &= 0 \\ \sum_{j=1}^N a_{ij} \sin \left( \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) &= 0 \end{aligned} \right\} \begin{matrix} n \\ i=1 \end{matrix} \tag{6}$$

[0026]

In this invention, the gain parameter  $k_j$  is added to each strain gage  $j$  for compensation of a ripple. That is, the gain parameter  $k_j$  is multiplied by the amplitude  $a_{ij}$ . A formula (6) is rewritten like a degree type (7).

[0027]

[Equation 7]

$$\begin{bmatrix} a_{ij} \cos \left( \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) \\ a_{ij} \sin \left( \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) \end{bmatrix}_{(2n \times N)} [k_j]_{(N)} = 0 \tag{7}$$

[0028]

In these linearity simultaneous equations, conditions for the solution which a gain parameter does not have to exist can be expressed with a degree type (8).

[0029]

[Equation 8]

$$N \geq 2n + 1 \quad (8)$$

[0030]

For example, when compensating only a primitive period component,  $n=1$ , therefore  $N$  are three or more, and this means that the strain gage of three or more sheets is the need. Moreover, when compensating even secondary period components,  $n=2$ , therefore  $N$  become five or more, and the strain gage of five or more sheets is needed.

[0031]

Here, the compensation principle of a primitive period rotation ripple is shown in drawing 3. As shown in drawing 3 (a) and (b), when 2 sets of strain gages  $f1$  and  $f2$  are used, compensation of a rotation ripple is impossible. However, if the gain adjustment of each strain gage is performed using 3 sets of strain gages  $f1$ ,  $f2$ , and  $f3$  as shown in drawing 3 (c) and (d), it turns out that a perfect compensation of a rotation ripple is attained.

[0032]

Although the solution of the simultaneous equations of an equation (6) exists innumably, in the case of  $N=2n+1$ , it can be chosen freely [ one gain parameter ]. For example, one of the gain parameters can be chosen as "1", and a gain adjustment becomes unnecessary to 1 set of strain gages in this case. "1",  $k_j=1$  [ i.e., ], then the gain parameter of the remaining individuals ( $N-1$ ) are asked for the gain parameter of the  $J$ th strain gage from the following formula (9).

[0033]

[Equation 9]

$$[k_j]_{j \neq J} = - \left[ \begin{array}{c} a_{ij} \cos \left( \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) \\ a_{ij} \sin \left( \frac{(j-1)\pi}{N} + \psi_{ij} \right) \end{array} \right]_{j \neq J}^{-1} \left[ \begin{array}{c} a_{Jv} \cos \left( \frac{(J-1)\pi}{N} + \psi_{Jv} \right) \\ a_{Jv} \sin \left( \frac{(J-1)\pi}{N} + \psi_{Jv} \right) \end{array} \right] \quad (9)$$

[0034]

After a gain adjustment, in order to make it not different [ the gain of the whole output ] from before adjustment, a scaling is carried out by the degree type (10).

[0035]

[Equation 10]

$$C = \frac{N}{\sum_{j=1}^N k_j} \quad (10)$$

[0036]

C is a scaling multiplier and the value of a final gain parameter serves as  $k'J=Ck_j$ .

[0037]

According to this invention, since compensation of a ripple is performed in the balance of the easy amplitude, it is realizable for a high speed also in an analog circuit or a digital circuit.

[0038]

Next, drawing 4 is the outline block diagram showing an example of the torque detection equipment of the wave-motion gearing constituted based on the new matter which became clear by this invention person etc. As for the torque detection equipment 10 of this example, 3 sets of strain gage groups  $f(p)$ , and  $f(p+120)$  and  $f(p+240)$  are stuck on the front face of the cop-like flexibility external-tooth gearing's 1 diaphragm 3 at intervals of 120 degrees. Each strain gage group consists of strain gages of the pair stuck on the condition of intersecting perpendicularly. The output from each strain gage group is outputted as a detecting signal, after the gain adjustment was carried out by amplifier 11, 12, and 13, respectively and being compounded with an adder 14. A rotation ripple can obtain the detecting signal compensated completely by performing a gain adjustment appropriately, as prescribed in an upper type (4).

[0039]

A concrete example of a circuitry Fig. of torque detection equipment 10 is shown in drawing 5. The detection section serves as 3 sets of rectangular biaxial mold strain gages (R1, R2) which constitute 3 sets of strain gage groups  $f(p)$ , and  $f(p+120)$  and  $f(p+240)$ , (R3, R4), (R5, R6), and a bridge circuit that consists of fixed resistance R7 and R8 of a pair.

[0040]

The output fluctuation curves  $f_1$ ,  $f_2$ , and  $f_3$  to angle of rotation of the wave-motion gearing in each strain gage group  $f(p)$ , and  $f(p+120)$  and  $f(p+240)$  are shown in drawing 6 (a). The synthetic output fluctuation curve at the time of compounding these outputs is shown in drawing 6 R> 6 (b). The synthetic output fluctuation curve after the gain adjustment was carried out to drawing 6 (c) by the torque detection equipment 10 of this example is shown. When drawing 6 (b) and the curve of (c) are compared, the torque detection equipment 10 of this example shows that the detecting signal compensated for the rotation ripple is obtained so that clearly.

[0041]

Although what is necessary is just to arrange a strain gage to include-angle within the limits of 180 degrees here as shown in drawing 1 and 2 according to the above-mentioned radical Motohara \*\* of this invention, when it has arranged to include-angle within the limits of 360 degrees like this example, there is an advantage that the low frequency component of 1 rotation 1 period by eccentricity can also be compensated.

[0042]

Next, drawing 7 has shown an example of the torque detection equipment for compensating the fundamental-wave component and secondary component which are contained in the rotation

ripple. Since the torque detection equipment 20 of this example is  $n=2$ , 5 sets of strain gage groups  $f(p)$ , and  $f(p+72)$ ,  $f(p+144)$ ,  $f(p+216)$  and  $f(p+288)$  are stuck on the front face of the cop-like flexibility external-tooth gearing's 1 diaphragm 3 by the equiangular distance. Each strain gage group consists of strain gages of two sheets stuck on the condition of intersecting perpendicularly. After the gain adjustment of the output from each strain gage group is carried out through each amplifier 21-25, it is supplied and compounded by the adder 26. Consequently, the detecting signal compensated for the rotation ripple can be outputted.

[0043]

[Effect of the Invention]

As explained above, according to the torque detection approach of the wave-motion gearing of this invention, it was checked by compounding, after carrying out the gain adjustment of the output of each strain gage that the rotation ripple which is the periodic fluctuation component which is unrelated to the transfer torque included in the strain gage output can be compensated.

[0044]

in order [ moreover, ] to compensate with this invention the component of each degree included in the rotation ripple -- the minimum -- it asks for required strain gage number of sheets, and the rotation ripple component to a need degree can be certainly compensated based on this. If it puts in another way, it will become possible to compensate a rotation ripple with the strain gage of the minimum number of sheets efficiently. Since there is little number of sheets of a strain gage and it ends, the efficiency of an attachment activity etc. can be increased and it becomes advantageous to reduction of the cost of a detection device.

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] In order to detect the transfer torque of wave-motion gearing, it is an explanatory view for explaining the rotation ripple contained in the detecting signal at the time of using a strain gage.

[Drawing 2] In order to detect the transfer torque of wave-motion gearing, it is an explanatory view for explaining the rotation ripple contained in the detecting signal at the time of using a strain gage.

[Drawing 3] It is an explanatory view to show that the strain gage of at least three sheets is required in order to cancel the primitive period component contained in a rotation ripple.

[Drawing 4] It is the outline block diagram showing a part for the principal part of the torque detection equipment of the wave-motion gearing which applied this invention.

[Drawing 5] It is the circuit block diagram showing the concrete example of circuitry of the torque detection equipment shown in drawing 4.

[Drawing 6] (a) is a graph which shows the output fluctuation curve to angle of rotation of the wave-motion gearing in 3 sets of each strain gage groups, and (b) is a graph which shows the synthetic output fluctuation curve at the time of compounding these outputs, and it is a graph which shows the synthetic output fluctuation curve after the gain adjustment was carried out to drawing 6 (c) by the torque detection equipment of drawing 5.

[Drawing 7] It is the outline block diagram showing a part for the principal part of the torque detection equipment of the wave-motion gearing which applied this invention.

[Description of Notations]

1 Cop-like Flexibility External-Tooth Gearing

2 Cylindrical Drum Section

3 Diaphragm

4 Boss

5 External Tooth  
10 Torque Detector  
11, 12, and 13 Amplifier  
14 Adder

---

[Translation done.]